# Degradace mozaik vystavených účinkům povětrnosti

Jaroslav Valach

Mozaiky patří k významným památkám kulturního dědictví a jejich zachování k nejobtížnějším úkolům pro restaurátory. V České republice je mozaika Posledního soudu na jižním vchodu do katedrály sv. Víta na Pražském hradě nejcennějším dílem tohoto druhu na území Česka, a proto se právem věnuje ochraně této památky zvýšená pozornost. Poznatky, které lze nalézt pro tuto mozaiku, platí do značné míry obecně pro všechny mozaiky vytvořené ze skla s výrazným zastoupením hořečnatých sloučenin. Ačkoli se sklo považuje za stabilní materiál, skutečnost je mnohem složitější, zejména pokud jde o dlouhodobé uchování vlastností skla. Chemická odlišnost historického skla způsobuje, že podléhá vnějším vlivům, a aby tyto vlivy, tedy reakční procesy, byly potlačeny, je třeba povrch skla chránit pečlivě vybraným souvrstvím povlaků. A aby věc nebyla jednoduchá, samy tyto povlaky také podléhají degradaci a je nezbytné včas zasáhnout, než poškození bude viditelné prostým okem. Pro včasné varování slouží optické a jiné fyzikální metody a simulace, jejichž popisu je tato kapitola přednostně věnována.

## Historie mozaiky „posledního soudu“ a jejího restaurování

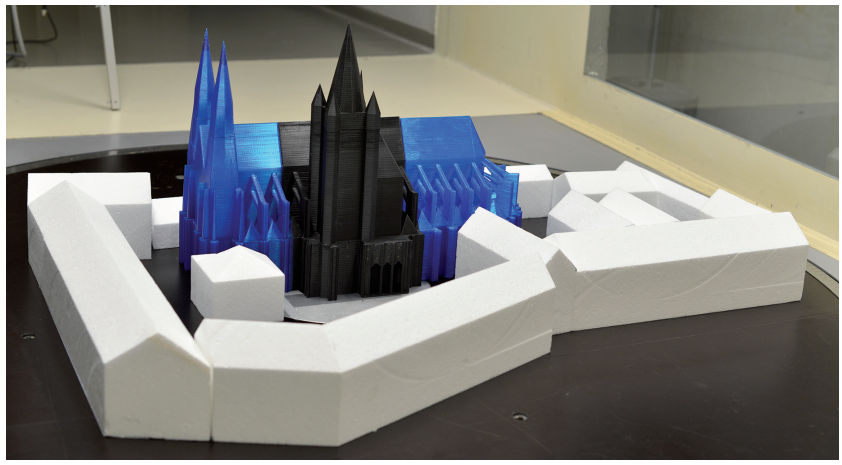
Mozaika Posledního soudu byla pro jižní vstup do katedrály, tzv. Zlatou bránu, vytvořena na popud císaře Karla IV. v roce 1371. Výroba skla probíhala na území Čech v zatím neurčených sklářských hutích. Jak známo, pro snížení teploty tání skla se hlavní surovina – oxid křemičitý, získaný obvykle v podobě sklářského písku, mísí s vápnem (uhličitanem vápenatým) a sodou (v podobě uhličitanu vápenatého) a dalšími alkáliemi (Piqué a Stehlík 2004, Kyzourová 2010). Užitím této směsi se teplota tání sníží téměř o tisíc stupňů Celsia oproti teplotě tání čistého oxidu křemičitého, což zajistí sklu zpracovatelnost i v primitivních podmínkách středověkých hutí. V Itálii, kde sklářství a mozaikářství začalo, byla soda dodávána v podobě natronu (směs $Na_2CO_3$ a $NaHCO_3$). V důsledku politických změn v Evropě se uzavřely i obchodní cesty dovážející natron a náhradní surovinou byl potaš $KCO_3$ získávaný z popelu bukového dřeva. Následkem změny složení skla ve prospěch hořečnatých sloučenin bylo snížení korozní odolnosti proti působení vody a v pozdějším období i kyselého deště. Interakce s prostředím se projevuje degradací povrchové vrstvy, vymýváním draselné složky a dalšími ději zasahujícími chemické složení a podobu povrchu. Rozpraskaný a vyluhovaný povrch se bezprostředně projevuje na optických vlastnostech (= vzhledu) skla. Viditelnost původních barev je potlačena rozptylem světla na povrchu, mnohočetnými odrazy

M. Drdácký et al. (ed.), Příspěvek technických věd k záchraně a restaurování památek.
https://doi.org/10.21495/49-9.85-94, © ÚTAM AV ČR, v. v. i., Praha, 2015.

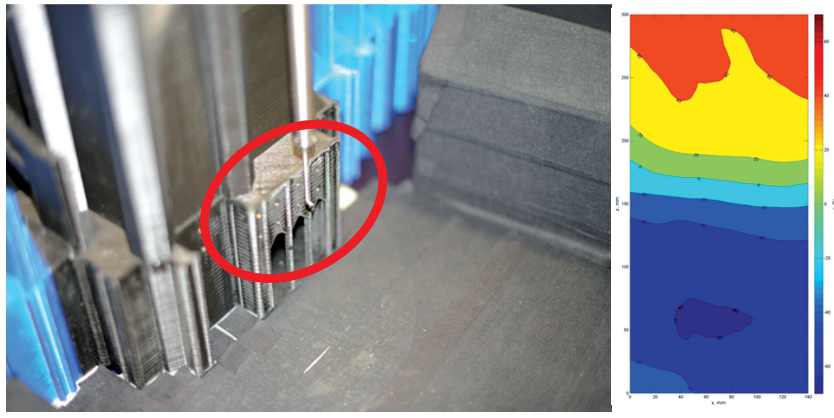
na povrchových útvarech, jakými jsou různé prasklinky, rýhy a hrany. Mozaika po delší část své existence trpěla touto vadou povrchu, pro kterou návštěvníci Hradu nemohli spatřit a náležitě ocenit její ohromující barevnost. Mozaika byla poprvé opravována již v 15. století, znovu pak po požáru Pražského hradu. O následujících zásazích až do 19. století chybí záznamy. V 19. století byla již mozaika ve špatném stavu, vypadlá sklíčka byla nahrazena maltou a malta opatřena malbou doplňující původní vyobrazení mozaiky. V roce 1890 byla mozaika sejmuta a měla být nahrazena kopií, avšak po jejím restaurování v roce 1908 byla v roce 1910 vrácena na své původní místo. Po druhé světové válce byla znovu restaurována několikrát, ale koroze se i po zásazích vždy vrátila. Teprve ochranný systém navržený a realizovaný Getty institutem v letech 1998–2000 přinesl dlouhodobější úspěch. Byl založený na čtyřech vrstvách povlaků – spodní vrstva organo-křemičitanový sol-gel, na ní byly naneseny organopolymery nejprve částečně zesítěné, pak nezesítěné, které byly vnější povrchovou vrstvou. Tam, kde restaurování vyžaduje zlacení, bylo provedeno mezi druhou a třetí vrstvou. Technologie údržby měla spočívat v pětileté výměně poslední ochranné vrstvy a ve dvacetileté výměně celého souvrství. Údržba předpokládala oddělitelnost zesítěné a nezesítěné vrstvy, která se nepotvrdila. Proto v roce 2004, kdy podle plánu údržby mělo být provedeno sejmutí vnějšího povlaku, bylo pro jeho dobrý stav přijato rozhodnutí, že odstraněn nebude a naopak se přidá další, pátý povlak – což nebyla šťastná volba, protože došlo ke „krabacení" povlaku a dalším vadám včetně delaminace. Mezi další pozorované vady, kterých byl vytvořen celý „katalog", patří bublinky, puchýřkování, zákal na zelených teserách (pravděpodobně obnovení koroze) atd. Idea periodické obnovy ochranných vrstev mozaiky byla navíc narušena další nedostupností nátěru z důvodů změny výrobního programu výrobce. Proto bylo cílem projektu podporovaného Ministerstvem kultury vybrat vhodný produkt pro náhradu nevyráběného a také vytvořit soubor postupů, jak zaznamenávat a měřit změny, ke kterým na povrchu skla dochází. Smyslem takového sledování je odhalit dříve, než je to patrné pouhým okem, nastupující poškození povrchu a tímto systémem „včasné výstrahy" prodloužit čas pro rozhodnutí o dalším postupu. Monitorovací postupy jsou nástroje pro odhalení důsledků, pro hledání příčin poškozování mozaiky je třeba se také obrátit k modelování, jak se promítají klimatické a meteorologické děje na zatížení mozaiky (Holubová et al. 2015). Proto jako první sled preventivního přístupu lze chápat provedené studie lokálního proudění a interakce mozaiky s deštěm v klimatickém tunelu.

## Simulace povětrnostního zatížení v klimatickém tunelu

Zmenšený model katedrály a obklopujících hradních budov posloužil k nalezení odpovědí na otázky, jaký má vliv směr proudění na zatížení mozaiky nápory větru a hnaným deštěm. Experimentální ověření zatížení mozaiky vlivy počasí lze potom propojit s dlouhodobými statistikami rozdělení proudění a srážek v průběhu roku. Proto byl vytvořen model katedrály sv. Víta v měřítku 1:200 (**obr. 71**). Toto měřítko bylo voleno ve vazbě na velikost klimatického tunelu „Vincenc Strouhal" v ÚTAM CET v Telči. Ve zvoleném měřítku jsou k dispozici detaily stavby v potřebném rozlišení a současně bylo možné katedrálu doplnit i okolními stavbami Pražského hradu, které jsou nezbytnou součástí modelu, má-li realisticky reprodukovat proudění v místě. Širší okolí Hradu nebylo nezbytné zahrnout, protože díky vyvýšenému umístění na ostrohu nad řekou je vystaven nenarušenému proudění.



**Obrázek 71:** *Pohled na model katedrály s okolními budovami Hradu*



**Obrázek 72:** *Model portálu s mozaikou (v elipse) vybavený tlakovými snímači. Vertikální profil rychlostí v místě mozaiky*

Postupným otáčením modelu vůči směru proudění vzduchu v tunelu mohly být studovány lokální projevy a fluktuace v místě portálu s mozaikou, například byla určena tlaková pole na modelu v místě mozaiky (**obr. 72**). Poznatky dosažitelné experimenty v klimatickém tunelu nebyly ještě vyčerpány, další rozvoj tohoto modelu umožní odhadnout zatížení mozaiky vlivy počasí a klimatu a jejich případnými změnami. Spojením místních projevů daného typu proudění s celoročními statistikami dostupnými na ČHMÚ lze odhadnout zatížení mozaiky. Znalost „přenosové funkce" dané modelem dokonce umožňuje modelovat vlivy změn typického chodu počasí na dynamiku degradace mozaiky.

Další využití klimatického tunelu představovala experimentální studie interakce makety mozaiky s deštěm. Pomocí rychloběžné kamery a systému pro měření pole rychlostí částic byla studována dynamika interakce kapek s mozaikou. Drsnost povrchu mozaiky se projevuje na pohybu a místech dopadu kapek, což potvrzuje požadavek řádného a trvanlivého vyspárování mozaiky.

## Monitorování stavu povrchu optickými a fyzikálními metodami

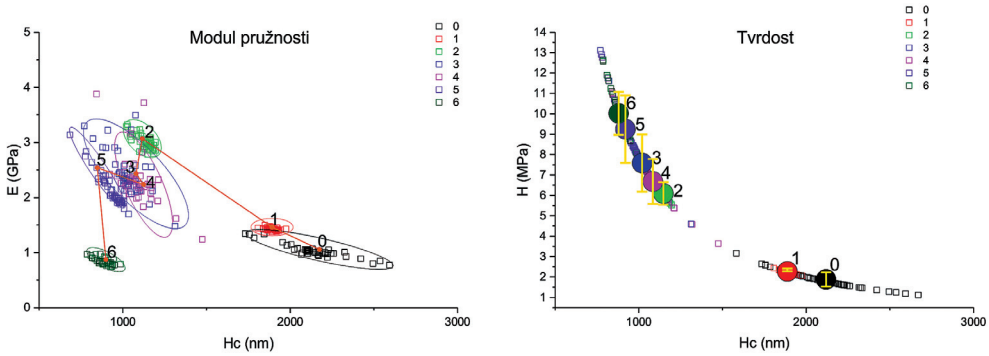
Monitorování stavu povrchu mozaiky po její obnově v roce 2000 přednostně spočívalo v opakované fotodokumentaci vybraných částí mozaiky, které bylo doplněno kolorimetrickým měřením barevnosti. Kolorimetrické měření je citlivé na výběr identického místa na skleněném dílku pro spolehlivé zjištění barevné změny. Současně se přistoupilo i na monitorování vzorků v podobě podložních mikroskopovacích sklíček s povlakem, který je identický s tím na mozaice. Díky umístění kontrolních vzorků na balkonu nad mozaikou je zatížení mozaiky a vzorků vnějším prostředím shodné. Tyto zavedené postupy však neumožňují odhalení poškození dříve, než je viditelné prostému oku, a proto byl zájem vypracovat další způsoby sledování stavu povlaku.

Pro ověření použitelnosti vyvíjených metod byly připraveny vzorky, které podstoupily různý stupeň umělého stárnutí vedoucího k různému stupni poškození, tedy fyzikální a chemické změny v polymerním povlaku se projevují jeho vizuální změnou. Vzorky pak byly vyhodnocovány navrhovanými metodami. Lze říci, že degradace povlaku, který je v okamžiku nanesení na povrch hladký, se projevuje nárůstem jeho nerovnosti. Je známo, že drsnost povrchu a úhlová odrazivost úzce souvisejí s topografií povrchu a mohou posloužit k popisu jeho poškození. Jak ukázala měření, drsnost povrchu roste s dobou umělého stárnutí a s nahromaděním poškození obecně. Jiné použitelné měření vysvětlené později je změna odrazivosti plochy z „lesklé“ na „lambertovskou“, tj. rovnoměrně matnou. Odrazivost umožňuje určit kvantitativně „polohu“ plochy na stupnici lesklosti/matnosti pro danou vlnovou délku (plocha se může jevit jako drsná ve světle o kratší vlnové délce a zároveň jako lesklá ve světle o větší vlnové délce). Tato poloha se dá použít jako indikátor drsnosti povrchu.

Následující odstavce si kladou za cíl ukázat, jak se mění pozorované poškození v závislosti na použité metodě a diskutovat její vhodnost pro dlouhodobé monitorování mozaiky. Tyto metody byly použity k popisu změn objevujících se na povrchu a uvnitř uměle stárnutého vzorku. Změny v povlaku ústí ve vizuální degradaci, ztrátu průhlednosti a lesku. Ke studiu těchto změn povrchu byla využita digitální mikroskopie, skenovací mikroskopie (z anglického „scanning probe microscopy“, SPM), řádkovací elektronová mikroskopie („scanning electron microscopy“, SEM), interferometrie v bílém světle a úhlově závislá reflektometrie.

Pro sledování kumulace poškození povlaku byly provedeny mechanické nanoindentační testy na zařízení Hysitron TI-750. Vyhodnocením série měření na povlacích simulujících různou úroveň uměle navozeného stárnutí bylo zjištěno, že modul pružnosti povlaku se mění způsobem, ve kterém je spíše než závislost na době stárnutí patrná lokální poddajnost daná sklonem povrchu, lokální fluktuací hustoty a podobně. Z tohoto důvodu není vhodný způsob, jak charakterizovat stav povlaku (**obr. 73**). Naproti tomu vývoj tvrdosti výrazně koreluje s postupujícím stárnutím vzorků, a proto by bylo možné tuto metodu i v budoucnosti zahrnout do metodiky sledování kvality povlaku.

Spolu s mechanickými zkouškami byly provedeny i studie topografie povrchu laku v různých stadiích umělého zestárnutí. Pro tento účel byl využit skenovací elektronový mikroskop TESCAN MIRA II a FEI Quanta 450, 3D digitální mikroskop Hirox 7700, zařízení pro interferenci v bílém světle Zygo a SPM (scanning probe microscope) modul v nanoindentoru. Topografie povrchu, vytváření různých „vrásek“, důlků, podpovrchová delaminace, vznik dutinek a podobně mají totiž rozhodující vliv na vizuální vlastnosti povlaku. Tyto optické vlastnosti se




**Obrázek 73:** *Mechanické vlastnosti povlaků zjištěné nanoindentací pro vzorky různé doby umělého stárnutí. Zatímco modul pružnosti (vlevo) nenaznačuje žádný trend, u tvrdosti (vpravo) je patrné, jak její hodnota roste s dobou stárnutí*

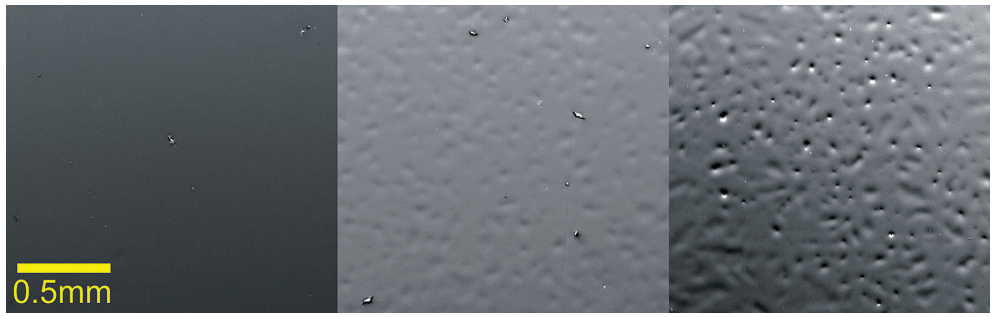
potom promítají do estetického vjemu z mozaiky, protože povlak v dobrém stavu intenzivní vlastní barevnost mozaiky zpřístupňuje pohledu, zatímco povlak s defekty vytváří poloprůsvitnou vrstvu, ve které se rozptyluje okolní světlo a mozaika samotná je tímto efektem překryta.

Ačkoli prostorové rozlišení SEM umožňuje velmi podrobné studium topografických detailů povlaku (**obr. 74**), nezbytnost povlak pokrýt vodivou vrstvou a potom jej exponovat vakuu a v průběhu pozorování v SEM vystavit proudu nabitých části vede k tomu, že tato metoda pro dlouhodobé monitorování povlaku není vhodná, protože testované vzorky nevratně mění.

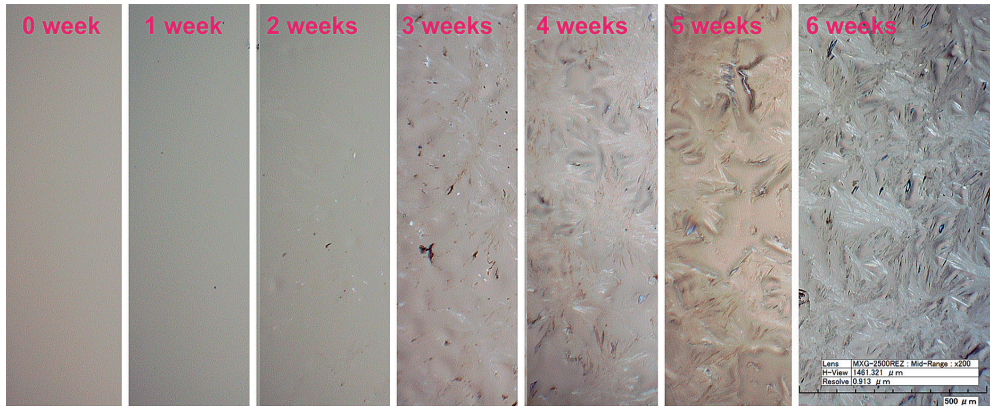
Podobně bylo vyloučeno pro dlouhodobé monitorování vzorků založené na opakovaném pozorování digitálním mikroskopem (**obr. 75**). Hlavním důvodem byla skutečnost, že digitální mikroskop používá spodního nasvícení studovaného vzorku a při vlastní degradaci skla pod povlakem by pozorování povlaku bylo nepřijatelně ovlivněno.

Mikroskopie sondou (SPM) a interference v bílém světle tedy vycházejí jako nejvhodnější metody pro detailní studium topografie povlaku (**obr. 76**). S ohledem na skutečnost, že výchozí velikost pozorované plochy je u SPM čtverec o straně 80 mikrometrů, je pro použití této metody nezbytné provést více pozorování, aby narostla pravděpodobnost získání reprezentativního vzorku. Interferometrie v bílém světle studuje v jednom měření plochu cca 1 × 1 mm, která je podstatně reprezentativnější (**obr. 77**). Vliv degradačních procesů se projevuje dramatickým nárůstem „zvlnění povrchu“ a může být charakterizovaný veličinou drsnost.

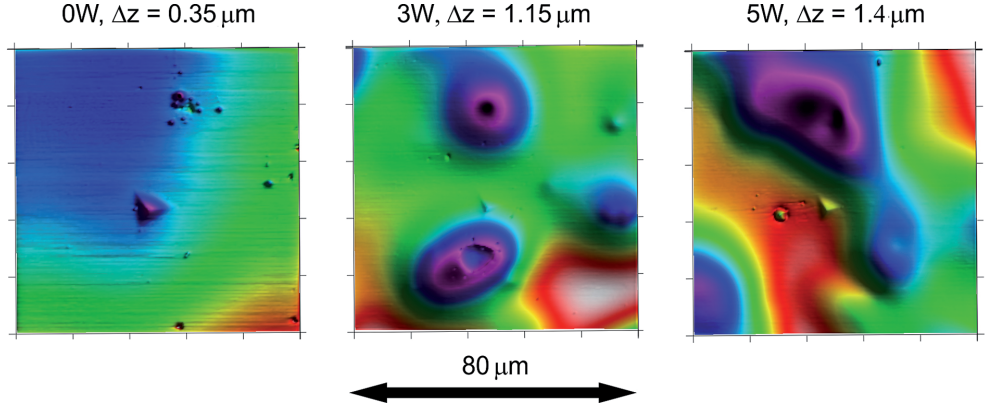
Pro charakterizování integrální změny kvality povrchu je ale důležité měření odvozené z optických metod, které mají svou podstatou nejblíže k hlavní motivaci udržení ochranného povlaku v dokonalém stavu – a totiž v konečném pozorování mozaiky návštěvníkem Hradu. K dosažení tohoto cíle byl vyvinut a do úrovně funkčního vzoru doveden laboratorní reflektometr (Kocour a Valach 2014). Toto zařízení umožňuje provádět automatizované měření odrazivosti povrchu. Data, která jsou v průběhu měření získána, jsou shrnuta do jediné „mapy odrazivosti“, která umožňuje charakterizovat optické vlastnosti povrchu (**obr. 78**). Díky souvislosti mezi povrchovou mikrotopografií a vizuálními vlastnostmi povrchu je tedy možné prostřednictvím nepřímého měření odrazivosti získat dostatečné informace o stavu povrchu – ukazuje se totiž, že zrcadlový lesk a odrazivost souvisí s opticky rovným povrchem a s nárůstem drsnosti povrchu roste matnost, tj. difúzní charakter odrážení světla z povrchu.



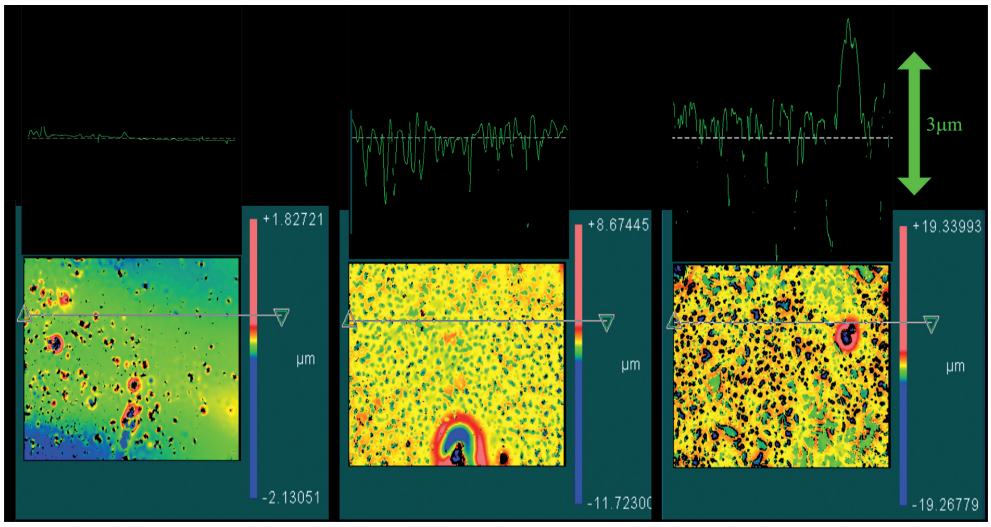

**Obrázek 74:** *Vývoj topografie povrchu s pokračováním umělého stárnutí zaznamenaný SEM sondou sekundárních elektronů*




**Obrázek 75:** *Vzhled povlaku v podání video mikroskopu Hirox KH-7700. V obraze jsou vidět nejen topografické detaily, ale i strukturní změny*




**Obrázek 76:** *Vývoj topografie povlaku pomocí SPM techniky, která je součástí nanoindentoru. Výšky útvarů na povrchu jsou vybarveny, ale barevné měřítko není společné pro všechny obrázky. Rozhodující je údaj o celkovém převýšení nad každým obrázkem.*




**Obrázek 77:** *Topografie a řezy povrchu analyzované pomocí interferometrie v bílém světle. Řezy povrchem, které jsou ve stejném měřítku, dobře ilustrují nárůst dramatičnosti povrchu*

Vytvořený laboratorní reflektometr umožňuje tuto souvislost zaznamenat, a proto může sloužit k charakterizování povrchu a jeho poškození. Toto poškození lze korelovat s nárůstem difúzní komponenty reflektance.

Po vzájemném porovnání výsledků z použití jednotlivých postupů, lze dospět k těmto závěrům: potvrdilo se, že optické metody se dají použít ke kvantifikaci změn způsobených degradací polymerního nátěru vyvolané zrychleným stárnutím. Bylo zjištěno, že nutnost pokrýt povrch vzorku přilnavou vrstvou vylučuje SEM z dalších úvah, protože vodivá vrstva, kterou je nutné povrch vzorku pokrýt, aby SEM fungovala, mění vlastnosti povrchu. Aplikovaná technika musí být neinvazivní, pokud má být dlouhodobý monitoring skutečně možný. Metoda SPM sice správně zobrazuje topografii povrchu, ale zobrazená část povrchu je příliš malá na to, aby ji bylo možné považovat za reprezentativní. Metoda digitální mikroskopie může dokumentovat změny stavu nátěru v průběhu stárnutí. Ale v dlouhodobém monitoringu založeném na pozorování mikroskopových podložních sklíček je možné, že výsledky budou ovlivněny degradací skla pod nátěrem, protože metoda digitální mikroskopie je jediná, která spoléhá na průhlednost soustavy: mikroskopové podložní sklíčko – nátěr. Proto metody kvantifikující drsnost povrchu nátěru jako měřítko jeho degradace jsou nejlepšími kandidáty pro spolehlivý monitoring. Vhodná metoda je přímé měření drsnosti například metodou interferometrie v bílém světle nebo nepřímé vyjádření drsnosti v odrazivosti povrchu měřené reflektometrem.

## Metodika budoucí ochrany

Metody studia a charakterizování povrchu, které byly diskutovány v předchozí části, vycházely z použití podložních sklíček pro mikroskopy jako substrátu pro pozorování degradačních procesů, které se odehrávají na povlacích. Tento způsob sledování změn doporučujeme i pro plné nasazení pro kontrolu stavu finálně vybraného ochranného povlaku po jeho nanesení na mozaiku.

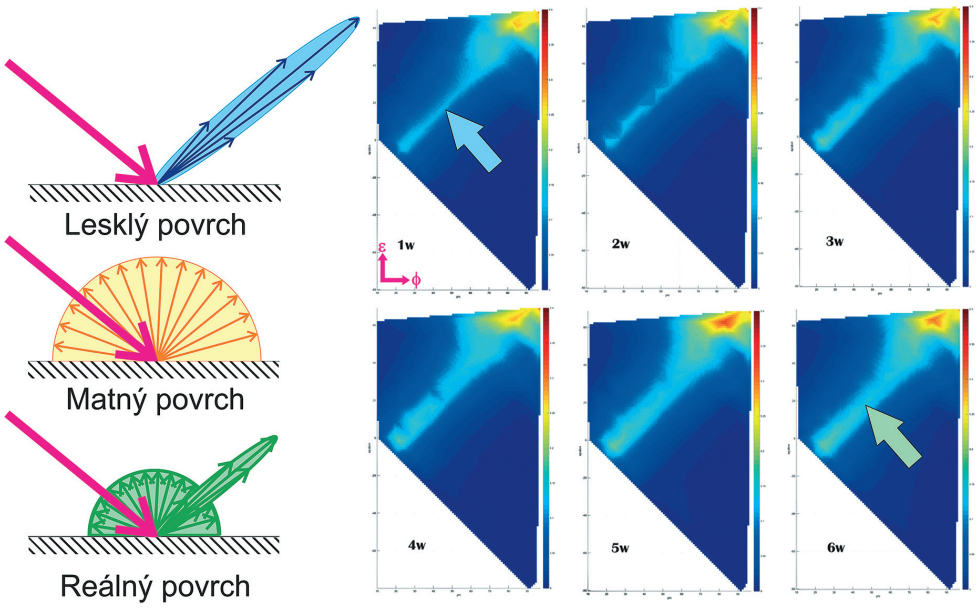
Zkušenosti z předchozího studia vlastností povrchu mozaiky totiž dokazují, že vlastní variabilita barev, členitosti povrchu, orientací skleněných dílků apod. přináší i v kontrolovaných laboratorních podmínkách značný problém reprodukovatelnosti výsledků. Na dřívějším použití spektrofotometru i digitálního mikroskopu se ukázalo, jak obtížné je vracet se v měření na stejné místo, což též znamená, jak různorodost povrchu způsobuje citlivost výsledků na umístění sondy, výběr místa. Prostorová variabilita vlastností překonává příspěvek od časové změny, tedy signál, který je z hlediska cílů měření šumem, zcela zastiňuje užitečnou informaci. V polních podmínkách, v exponované výšce na mozaice by validita výsledků byla ještě obtížněji dosažitelná. Proto použití podložních sklíček se jeví jako řešení, jak dosáhnout nejvyšší opakovatelnosti měření, protože homogenní povrch vzorků zaručuje reprezentativnost měření při volbě jakéhokoli místa na vzorku. Tímto způsobem bude pro studium změn dostupná i celá paleta analytických metod, které nelze aplikovat na místě.

Metodika pro monitorování stavu ochranného povlaku na mozaice by proto měla vycházet z totožných degradačních dějů, které probíhají na kontrolních vzorcích a na mozaice samotné. Tuto podmínku lze splnit jedině umístěním vzorků na stejné místo, kde je i mozaika. Takovým místem je balkon nad portálem s mozaikou. Zde budou kontrolní vzorky vystaveny stejnému působení počasí jako mozaika samotná a navíc půjde i o řešení citlivé z hlediska potřeb návštěvníků Hradu, protože kontroly se budou moci odehrávat, aniž by rušily pohled na mozaiku.

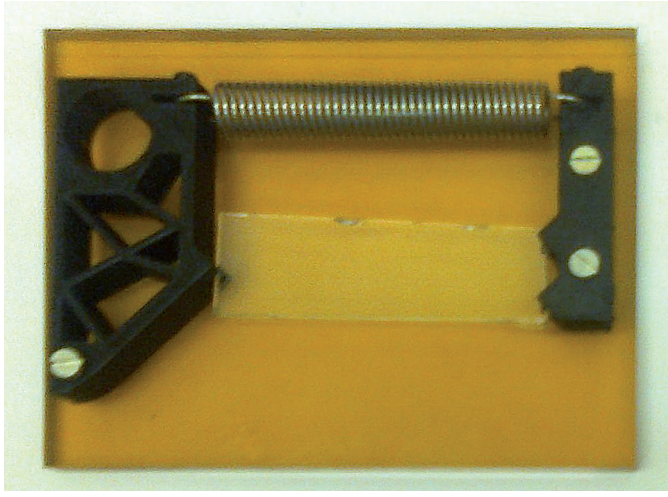
Vzorky je pro kontrolní měření nezbytné opakovatelně vkládat na stojan, který bude umístěný mimo pohledy návštěvníků. Materiál stojanu, nerezová ocel, zaručuje trvanlivost monitorovací základny a současně i potřebnou inertnost vůči dějům na kontrolních vzorcích. Na stojanu budou na skleněný panel umístěny držáky vzorků (**obr. 79**). V rychlostní části klimatického tunelu byly provedeny zkoušky, které dokázaly bezpečnost uchycení sklíček pro všechny předpokládatelné směry větru až do rychlostí vichřice, tedy pro rychlosti větru přesahující 100 km/h. Takové měření a test pod zatížením výrazně překračujícím nejhorší místní podmínky poskytne jistotu bezpečného dlouhodobého provozu, který nepovede ani ke ztrátám vzorků ani k eventualitě, že by sklíčka mohla být z držáku odnesena větrem. Pro splnění tohoto požadavku je držák navržen tak, aby sklíčko svíral ve třech bodech nezbytných pro definované uchopení rovinného objektu. Tyto body jsou realizovány jako zářezy, aby kontakt mezi podložním sklíčkem a držákem byl jednoznačný, současně zářezem bude odváděna dešťová voda a vzorek tak nebude v trvalém kontaktu se zadrženou vodou. Přítlak vzorku je vyvozen přes pružinu. Pružina samotná je vyrobena z korozivzdorné oceli, aby nepodléhala korozním poškození a současně nepoškozovala vzorek deponováním korozních produktů na jeho povrch. Držák je navíc navržen tak, aby pákový princip zesiloval účinky pružiny na vzorku.

Funkční prototyp držáku vzorku byl vyroben na 3D tiskárně. Ačkoli toto řešení umožňuje rychlý vývoj konstrukce a ověření platnosti konceptu, konečnou volbou použitého materiálu bude asi hliníková slitina s povlakem, který ještě zvýší její odolnost proti povětrnostním vlivům. Polymerní materiál 3D tiskárny totiž podléhá radiačnímu poškození na denním světle, a proto by hrozilo, že po několika rocích provozu se začnou držáky lámat. Nicméně pro zkoušky v tunelu prototyp vyhovoval.

Výše popsaným umístěním vzorků na stojan bude zajištěna stejná expozice povětrnostním vlivům u vzorků i u mozaiky. Periodickou inspekcí vzorků potom lze zajistit podrobnou znalost změny povlaku v čase a předpovědět čas pro vhodnou intervenci. Současně se vzorky s povlaky realizované receptury lze uvažovat o umístění vzorků konkurenčních receptur pro pomoc při budoucí volbě dalšího povlaku.




**Obrázek 78:** *Levá část obrázku ilustruje rozdílné typy povrchů co do jejich odrazivosti. Pravá část ukazuje naměřené „mapy odrazivosti" pro povlaky různé doby umělého stárnutí. Ostrý hřbet v oblasti shody úhlu dopadu a odrazu pro nestárnutý povlak se rozplývá u vzorku povlaku se šesti týdny umělého stárnutí.*



**Obrázek 79:** *Prototyp držáku vzorků určený pro zátěžové testy ve větrném tunelu*

Monitorovací inspekce bude spočívat v měření reflektance, zjištění drsnosti povrchu, nanoindentačním vyhodnocení mechanických vlastností povrchu a FTIR mikroskopii. Po provedení měření se vzorek umístí zpět na stojan. Optimální situace pro provedení testů je suché

podmračené počasí, kdy je venkovní teplota shodná s obvyklou teplotou v místnosti, aby se „synchronizace“ expozice mozaiky a vzorků co nejméně odlišila. Tento přístup založený na nepřímém sledování povlaku na vzorcích mimo mozaiku přináší mnoho předností a bude v dalším monitorování a přípravě nového systému ochranných povlaků dále rozvíjen.

## Poděkování

Kapitola využívá výsledků výzkumu podporovaného v rámci projektu NAKI „Technologie údržby a konzervace mozaiky Posledního soudu a metody restaurování-konzervování středověkého a archeologického skla“ DF12 P01 OVV 017. Bez spolupráce s V. Kocourem, V. Petráňovou, P. Šaškem, S. Kuznetsovem a dalšími spolupracovníky by nemohla být dokončena.

## Použitá literatura

Holubová, B., Z. Zlámalová Cílová, I. Kučerová a M. Zlámal. Weatherability of hybrid organic–inorganic silica protective coatings on glass. *Progress in Organic Coatings*, 2015, 88, 172-180. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.07.001

Kocour, V. a J. Valach. Semiautomatic surface reflectance measurement for monitoring of material weathering. In: Kytýř, D., P. Zlámal a M. Růžička (eds.). *Proceedings of XII-Ith youth symposium on experimental solid mechanics.* Praha: Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, 2014, 56-60. ISBN 978-80-01-05556-4.

Kyzourová, I. Historie oprav a současná údržba mozaiky s Posledním soudem na Zlaté bráně katedrály sv. Víta. *Zprávy památkové péče*, 2010, 70(5), 326-330.

Piqué, F. a D. Stulík (eds.). *Conservation of the Last Judgment Mosaic, St. Vitus Cathedral, Prague.* Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2004. ISBN 978-0-89236-782-5.